

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Konstrukční návrh víceúčelového efektoru

The Construction Design of Multipurpose Effector

Student:

Radim Benek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Kárník, Csc.

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Radim Benek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Specializace: 70 Robotika
Téma: **Konstrukční návrh víceúčelového efektoru**
The Construction Design of Multipurpose Effector

Zásady pro vypracování:

1. Provedte analýzu současného stavu a navrhnete varianty řešení možných koncepcí víceúčelového efektoru.
2. Provedte výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty podrobně rozpracujte dle pokynů vedoucího s využitím CAD systému Pro/ENGINEER.
4. Výkresovou dokumentaci zpracujte dle pokynů vedoucího.
5. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodnoťte dosažené výsledky.
6. Závěr.
7. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynu vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

KÁRNÍK, L. - KNOFLÍČEK, R. - MARCINCIN, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.

MENZEL, P. - D'ALUSIO, F. *Robo sapiens: evolution of a new species*. USA, New York, 2000. 239 p. ISBN 0-262-13382-2.

SKARUPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Kárník, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 23. 5. 2011

.....

Radim Benek

Prohlašuji, že

- jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 23. 5. 2011

.....

Radim Benek

Štěpánkovická 1a

747 21, Kravaře

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Ladislavu Kárnikovi, Csc. za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce, taktéž děkuji panu Ing. Milanu Miholovi za cenné rady týkající se konstrukční části práce a nakonec bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu při studiu.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BENEK, R. *Konstrukční návrh víceúčelového efektoru: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2011, 52 s.
Vedoucí práce: Kárník, L.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem víceúčelového efektoru pro servisní robot ARES. Úvod práce je zaměřen na rozbor efektorů používaných v praxi. Součástí návrhu jsou čtyři varianty řešení a následný výběr optimální varianty na základě hodnotové analýzy. Práce dále obsahuje 3D model optimální varianty v CAD systému Pro/Engineer, sestavný výkres a základní návrhové a pevnostní výpočty vybraných konstrukčních prvků.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BENEK, R. *The Construction Design of Multipurpose Effector: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of robotic, 2011, 52 s.
Thesis head: Kárník, L.

This thesis deals with the structural design of multi-purpose effector for service robot ARES. The introduction is devoted to analysis of effectors used in practice. The suggestion must include four variants of solution and subsequent selection of the optimal value based on the analysis. The work also includes a 3D model of optimal design in CAD system Pro / Engineer, the plan and basic design and stress analysis of selected components.

Obsah

Seznam použitých značek	10
1. Úvod	12
2. Rozbor efektorů a jejich příslušenství.....	13
2.1. Všeobecný popis efektoru.....	13
2.2. Základní rozdělení efektorů	16
2.3. Použití	19
3. Požadavkový list	20
4. Navržené variant	21
4.1. Varianta A.....	21
4.2. Varianta B	23
4.3. Varianta C	25
4.4. Varianta D.....	27
5. Hodnotová analýza	29
5.1. Jednotlivá kritéria rozhodování.....	29
5.2. Možné ohodnocení kritérií.....	30
5.3. Zhodnocení kritérií pro jednotlivé varianty.....	30
5.4. Váha významnosti jednotlivých kritérií.....	30
5.5. Výpočet vážených indexů jednotlivých variant.....	31
5.6. Výsledky	32
6. Konstrukce efektoru.....	32
7. Výpočet hlavních parametrů efektoru.....	36
7.1. Kinematická analýza použitého ramena robotu.....	36
7.1.1. Nejméně vhodná poloha ramena robotu pro uchopení OM.....	36
7.1.2. Výpočet působících sil na OM.....	37
7.2. Návrh konfigurace čelistí a určení sil na ně působících	38
7.2.1. Výpočet upínací síly.....	38
7.2.2. Výpočet síly působící v ose šroubu.....	40
7.3. Výpočet krouticího momentu na šroubu.....	41
8. Návrh pohybových jednotek	43
8.1. Pohybová jednotka PJ-1.....	43
8.2. Pohybová jednotka PJ-2	45
9. Montáž.....	47

10. Technické parametry.....	49
11. Závěr.....	50
12. Seznam použité literatury	51
13. Přílohy.....	52

Seznam použitých značek

Značka	Význam	Jednotka
F_N	Normálová síla	[N]
F_O	Odstředivá síla	[N]
F_S	Setrvačná síla	[N]
F_t	Třecí síla	[N]
F_Z	Výslednice odstředivých a setrvačných sil	[N]
F_0	Síla v ose šroubu	[N]
G	Gravitační síla	[N]
L	Délka ramene	[m]
M_{km}	Krouticí moment motoru	[Nmm]
M_{kp}	Krouticí moment převodovky	[Nm]
M_{ks}	Zatěžující krouticí moment	[Nm]
M_{kl}	Krouticí moment na pohyb. šroubu	[Nm]
M_{k2}	Krouticí moment od upínací síly	[Nm]
M_O	Ohybový moment	[Nm]
P_h	Stoupání závitu	[mm]
R	Poloměr ozubeného segmentu	[m]
U	Celková upínací síla	[N]
a_n	Normálové zrychlení	[m/s ²]
a_t	Tečné zrychlení	[m/s ²]
d	Průměr šroubu	[mm]
d_2	Střední průměr šroubu	[mm]
d_3	Malý průměr šroubu	[mm]
f	Součinitel smykového tření (ocel/kůže)	[-]
f_z	Součinitel smykového tření (ocel/ocel)	[-]
g	Gravitační zrychlení	[m/s ²]
i_{oz}	Převodový poměr ozubení	[-]
i_p	Převodový poměr převodovky	[-]
k	Součinitel bezpečnosti	[-]
l	Vzdálenost	[m]

l_C	Max. délka ramen	[m]
m	Hmotnost	[kg]
y	Rameno momentové síly	[m]
α	Úhel sevření ramen/závitů	[°]
ε	Úhlové zrychlení	[rad/s ²]
η_{oz}	Účinnost ozubení	[-]
η_p	Účinnost převodovky	[-]
φ'	Redukovaný třecí úhel	[°]
ψ	Úhel stoupání závitů	[°]
ω	Úhlová rychlost	[rad/s]

1. Úvod

Práce se zabývá konstrukčním návrhem efektoru pro mobilní robot ARES. Robot ARES je univerzální modulární struktura mobilního robotu na pásovém podvozku se dvěma hlavními pásy řízenými smykem.

Robot ve spojení s nastavbovými moduly lze využít pro širokou škálu servisních úloh. Dále lze vybavit robot detekčními přístroji pro kvalitativní stanovení nebezpečných látek apod. Jako další příklad lze uvést umístění manipulační nástavby na horní plošinu robotu. V tomto případě se jedná o servisní robot např. pro odběr vzorků v místě mimořádné události a jejich transport [14].

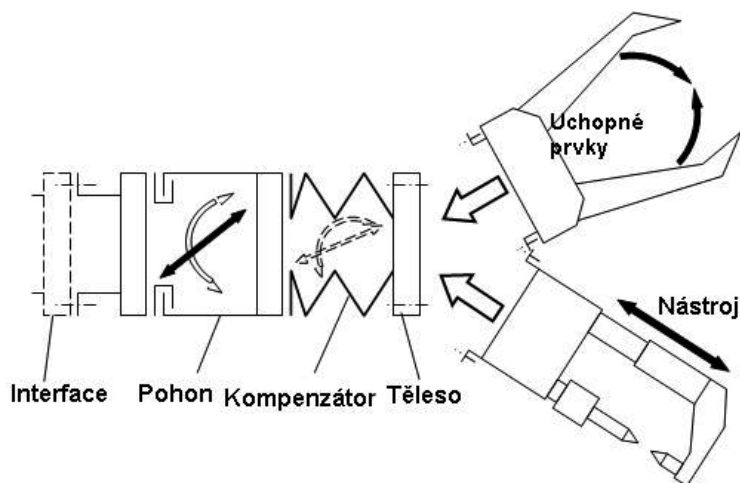
Návrh efektoru se odvíjel od navržené manipulační nástavby. Robot bude manipulovat s objekty manipulace různých druhů a tvarů (kvádry, válce, koule apod.), z čehož plynou některé požadavky na efektor, který tyto úkony musí zvládnout. Nosnost efektoru by se měla pohybovat kolem 10 kg s možností upnutí technologických nástavců.

2. Rozbor efektorů a jejich příslušenství

2.1. Všeobecný popis efektoru

Efektor (Obr. 1) je výkonným subsystémem servisního robotu. Účelem efektoru je vlastní realizace úkolů, pro které je robot předurčen, tj. manipulace s různými objekty. Nejjednodušší způsob, jak popsat efektor, je pomocí lidské ruky. Efektor je podobný lidské ruce, protože podobně jako lidská ruka umožňuje držení, utahování, manipulaci a uvolňování objektu. Efektor může být připojen k ramenu robotu, nebo může být součástí pevného automatizačního systému [6, 16].

Efektory nejčastěji pracují pomocí pneumatických, hydraulických, magnetických nebo elektrických pohonů, ty zajišťují hlavní hnací pohyb, který je převáděn pomocí potřebných mechanismů na pohyb čelistí, či jinak specializovaných upínacích prvků. Můžou to být různě tvarované čelisti, přísavky, elektromagnety a jiné prvky.



Obr. 1 – Obecné schéma efektoru [6]

Interface

Umožňuje propojení koncové části ramena robotu s efektozem. Interface se skládá ze dvou částí, jedna je připevněna k efektoru a druhá k ramenu robotu. Obě části si musí tvarově, rozměrově a parametricky odpovídat. V dnešní době jsou interfacery normalizovány [6].

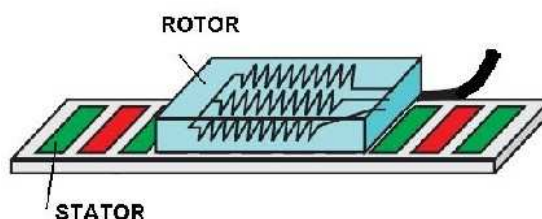
Pohon

Chápeme ve dvojím smyslu, jednak jako zdroj pohybu čelistí u uchopovacích efektorů, případně také jako systém pro zajištění mikropohybu – doplňkový stupeň volnosti. V dnešní době je velká škála pohonů, která se stále rozrůstá. Pro servisní roboty se nejčastěji používají elektromotory. Elektromotory můžou být rotační nebo lineární [6].

rotační:

- servomotory
- stejnosměrné motory
- střídavé motory
- krokové motory

lineární: je to klasický synchronní stroj (může být i asynchronní) s permanentními magnety (Obr. 2). Které jsou rozloženy místo na kružnici na přímce [18].



Obr. 2 – Schéma funkce lineárního motoru [18]

Kompenzátor

Slouží k eliminaci nepřesností, které nastávají při kontaktu úchopných částí efektoru s objekty manipulace. Můžou pracovat na různých principech, pružin, pryží apod. [6].

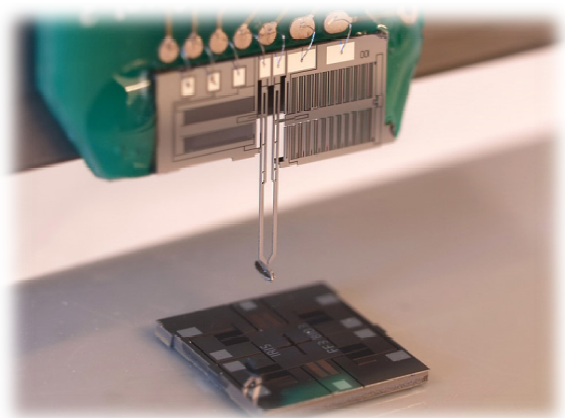
Těleso

Je základním nosným stavebním prvkem s rozhodujícím podílem pro dosažení požadované tuhosti a přesnosti efektoru. Současně musí vytvářet předpoklady pro kompaktnost a minimální vnější rozměry efektoru a připojení ostatních stavebních prvků i technologičnost konstrukce [6].

Úchopné prvky

Hrají rozhodující roli pro dosažení parametrů, závisících na kontaktu s dotykovými plochami efektoru a do značné míry také předurčují volbu struktury efektoru. Jejich tvar,

rozměry, materiál nejsou nijak dané, záleží k čemu budou sloužit, co budou uchopovat, kde bude manipulace probíhat a na mnoho dalších faktorech, podle kterých se úchopné prvky specifikují [6]. Na obrázcích (Obr. 3 - 6) jsou zobrazené vybrané úchopné prvky.



Obr. 3 – Mikro efektor [15]



*Obr. 4 – Efektor
s elektromagnetickým úchopem [22]*



*Obr. 5 – Efektor s paralelními
čelistmi [19]*



*Obr. 6 – Pneumatická přísavka
[23]*

Čidla, snímače a jiná elektronická zařízení

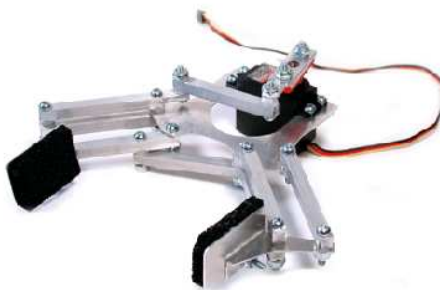
K efektoru mohou být také připojeny různé čidla, snímače a jiná elektronická zařízení zajišťující kontrolu nad efektozem. Efektory jsou také často vybaveny kamerovým systémem s osvětlením pro lepší viditelnost v prostoru manipulace. Kamera je důležitá při práci v prostoru, kde obsluha robotu nemůže.

2.2. Základní rozdělení efektorů

Rozdělení podle pohybu čelistí

Paralelní efektor

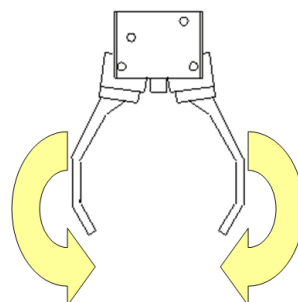
Čelisti efektoru se pohybují souběžně, jejich dotyky jsou k sobě stále rovnoběžně. Používají se ve většině aplikací servisních robotů. Paralelní efektory (Obr. 7) jsou obvykle přesnější než ostatní styly efektorů a mají lepší uchopovací vlastnosti. Nevýhodou je zvětšení celkové hmotnosti efektoru přidáním mechanismu zajišťující tuto funkci [16].



Obr. 7 – Paralelní efektor [11]

Angulární (úhlové) efektory

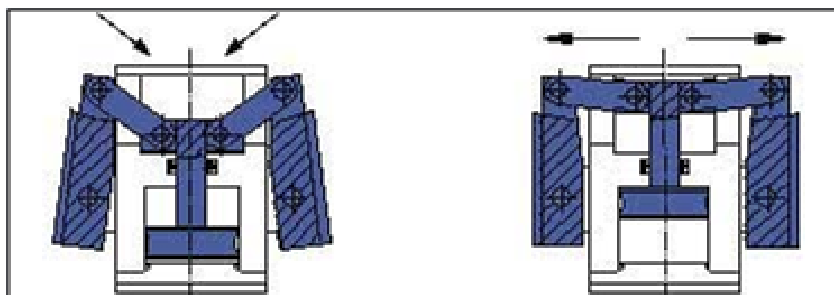
Čelisti se otevírají a zavírají kolem centrálního otočného bodu, pohybují se po oblouku. Angulární efektory (Obr. 8) jsou často používány při manipulaci v omezeném prostoru. Nejsou konstrukčně složité a jejich ovládání je snadné [16].



Obr. 8 – Angulární efektor [17]

Uzamykací efektor

Tento efektor (Obr. 9) má velmi dobré uchopovací vlastnosti. Při úchopu je objekt uzamknut. Je držen tvarovým stykem a v případě výpadku energie, je objekt stále upnut, díky uzpůsobení mechanismů čelistí. Nevýhodou je, možnost úchopu jen jednoho druhu objektu manipulace, pro který je efektor navržen [16].



Obr. 9 – Uzamykatelný efektor v otevřeném a uzavřeném stavu [17]

Rozdělení podle počtu čelistí

Dvou čelist'ový efektor

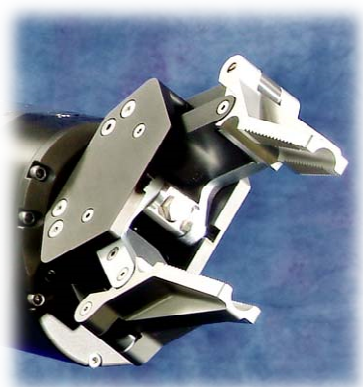
Je to nejpoužívanější styl efektoru (Obr. 10), dvě čelisti poskytují dvou bodové upnutí. Čelisti se pohybují v synchronním pohybu, otevírání a zavírání je směrem k centrální ose těla efektoru [16].

Tří čelist'ový efektor

Je to více specializovaný styl efektoru (Obr. 11), čelisti efektoru zajišťují tři bodové upnutí, které je dobré pro upínání rotačních součástí, z důvodu jejich přesnějšího centrování. Čelisti se pohybují v synchronním pohybu, otevírají a zavírají se směrem k centrální ose těla efektoru. U speciálních požadavků pro manipulaci, je možno každou čelist ovládat zvlášť. Ale je to náročnější na ovládání a zvětšují se tím rozměry efektoru samozřejmě i cena. Jejich nevýhodou je složitější a větší konstrukce [16].

Více čelist'ové efektory

Jsou určeny pro speciální uchopovací požadavky. Více místné uchopení objektů, pro složité tvary, kde by předchozí čelisti nebyly dostačující [16]. Zobrazen na obrázku (Obr. 12).



Obr. 10 – Dvou čelistový efektor [12]



Obr. 11 – Tří čelistový efektor [21]



Obr. 12 – Čtyř čelistový efektor [20]

Rozdělení podle způsobu uchopení objektu

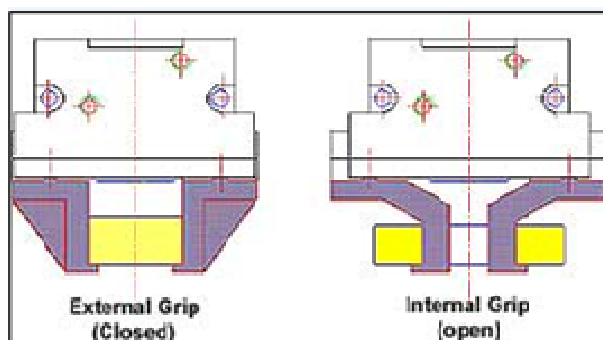
Efektory můžou OM uchopit dvěma způsoby a to z vnější nebo nitřní části (Obr. 13). Volba je určena geometrií, umístěním a jinými specifikacemi manipulačního objektu [16].

Vnější

Vnější úchop je nejčastější způsob, jak držet objekt manipulace.

Vnitřní

Vnitřní uchopení se nejčastěji používá, když v procesu manipulace je vyžadován přístup na vnější části OM.



Obr. 13 – Vnější a vnitřní způsob uchopení OM [17]

2.3. Použití

Efektory mají v dnešní době široké využití, jejich potenciál je velký. Můžeme je vidět na ramenech průmyslových nebo servisních robotů v různých technologických odvětvích, jako je např.: medicína, strojírenství, armádní a pyrotechnické aplikace, vědní obory jako jsou astronomie, chemie apod. Nejčastěji jsou efektory umístěny na robotech, kteří slouží k usnadnění lidské práce či ochraně jejich životů (pyrotechnický robot).

Robot EOD tEODor

Je speciální prostředek manipulace bez přímé účasti a ohrožení zasahujícího pyrotechnika.

Robot (Obr. 14) je určen k prvotnímu průzkumu nebezpečného materiálu (možného improvizovaného výbušného systému) ve volných prostorech, budovách, pod dopravními prostředky apod. nebo ke zřízení přístupu do uzavřených prostorů.

Je vybaven dálkovým ovládáním s videokamerou, rentgenovým zařízením k prohlížení nebezpečného nebo podezřelého předmětu, hydraulickým ramenem k manipulaci s nebezpečným materiálem, rozstřelovacím zařízením k ničení nástražných výbušných systémů, zmrazovacím zařízením k zamezení přechodu iniciačního impulsu od roznětného prvku k výbušnině.

Pomocí přídatných přístrojů a zařízení může robot řezat plech, vrtat otvory ve zdi, rozbít okno a odtáhnout vozidlo [13].



Obr. 14 – Servisní robot Theodor [13]

Technické data:

Tažná síla:	3000 N
Uchopovací síla:	600 N
Rozevření čelistí:	300 mm

Rozměry:

Délka:	1300 mm
Šířka:	680 mm
Výška: KM30 rozložený:	1100 mm
KM30 čelist vertikálně/horizontálně:	4800/2400 mm
Vlastní hmotnost s manipulátorem a bateriemi:	360 kg
Rychlost (plynule proměnná):	0 – 50 m/min.
Schopnost jízdy do stoupání po schodišti s max. zatížením:	32°
Nejmenší poloměr otáčení:	1460 mm

3. Požadavkový list

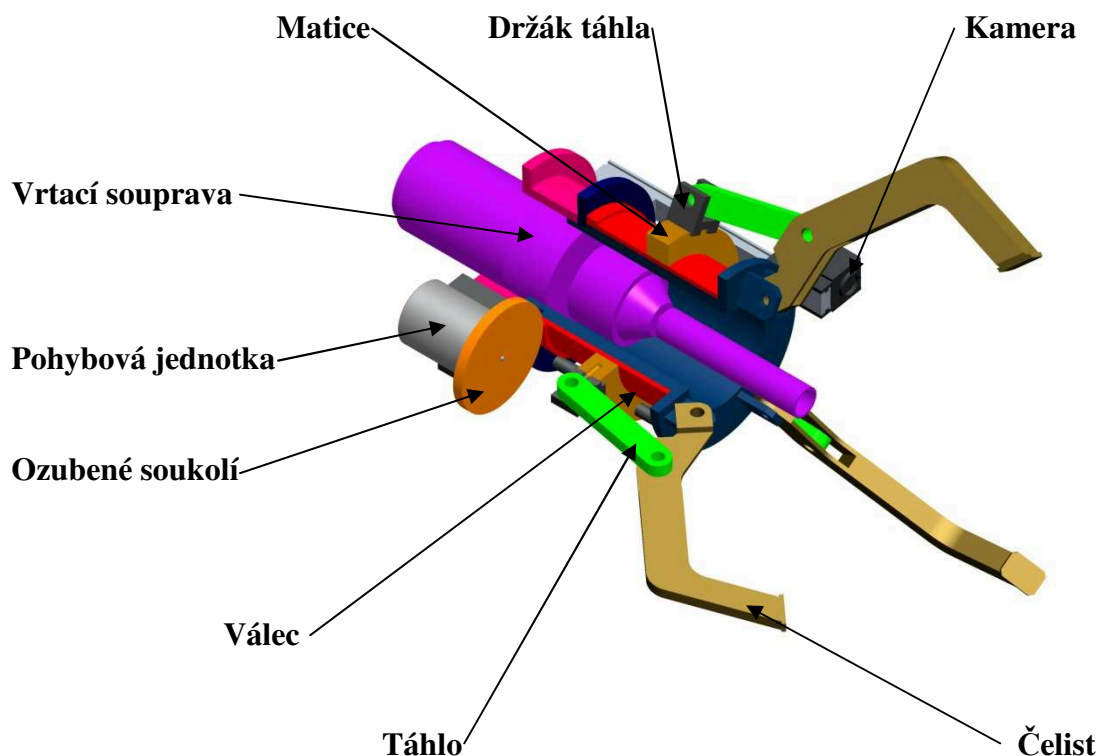
Rozměry:	rozevření čelistí cca 0-300 mm
Hmotnost OM:	cca 10 kg
Hmotnost efektoru:	snaha o co nejmenší hmotnost v poměru k OM a konstrukci
Druh pohybu čelistí:	paralelní
Uchopovací parametry:	plocha čelistí cca 40x120 mm možnost tvarových nástavců s rychlo výměnou možnost upnutí technologických hlavic
Pohony efektoru:	použití elektromotorů
Vybavení efektoru:	kamera s osvětlením, 12 V-24 V

4. Navržené varianty

Konstrukční návrh varianty A byl navržen v počátcích bakalářské práce, kdy požadavky na efektor se lišily od těch, které jsou uvedené v kapitole 3. Efektor měl zajistit uchopení objektu manipulace o průměru 250-300mm pomocí 3 čelistí a jeho středem měla procházet vrtací souprava pro možný odběr různých vzorků. Z požadavků sešlo a byly stanoveny nové (kapitola 3), ty platí pro varianty B, C a D.

4.1. Varianta A

Konstrukce varianty A je zobrazena na obrázcích (Obr. 15, 16). Pohyb čelistí je zajištěn pohybovou jednotkou, která pohání otočný válec přes ozubené soukolí. Válec je uložen k tělu efektoru pomocí kluzných ložisek. Na válci je zhotovený závit, po kterém se posouvá matice, uložená v kluzném vedení. Matice obsahuje tři držáky táhel, pro každou čelist jeden. Na efektoru je umístěna kamera, která slouží k vedení efektoru při práci s vrtačkou a orientaci robotu v prostoru.



Obr. 15 - Řez efektoru

Parametry

Hmotnost: cca 12,8 kg

Max. rozměry:

v uzavřeném stavu: délka 516 mm
šířka 270 mm

v otevřeném stavu: délka 380 mm
šířka 544 mm

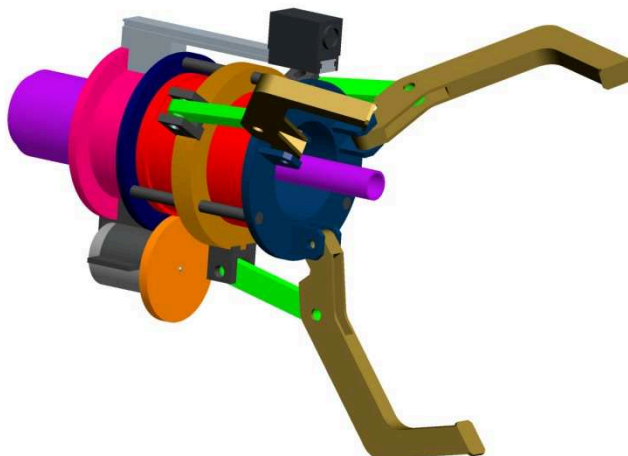
Rozevření čelistí: Ø390 mm

Výhody:

- možnost uchopení objemných předmětů různých tvarů
- možnost najetí kamery k místu manipulace

Nevýhody:

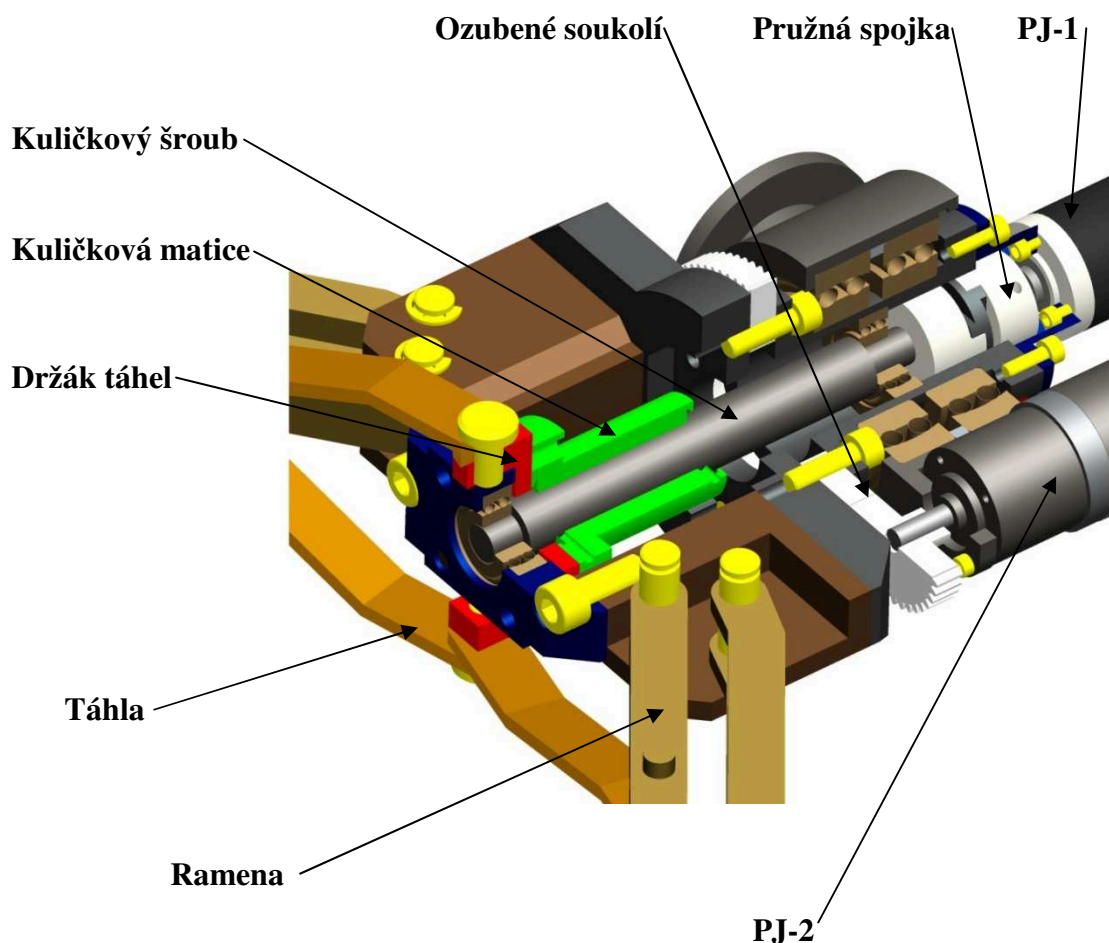
- složitost konstrukce
- hmotnost konstrukce



Obr. 16 – 3D model varianty A

4.2. Varianta B

Varianta B (Obr. 17, 18) obsahuje dvě pohybové jednotky (PJ). Jedna slouží k rotaci efektoru kolem své osy a druhá k pohybu čelistí. Rotaci efektoru zajišťuje PJ-2, kde krouticí moment je převáděn na efektor ozubeným soukolím s přímými zuby. Rotační část efektoru je uložena v těle efektoru pomocí dvou kuličkových ložisek. Krouticí moment PJ-1 je převeden na translační pohyb pomocí kuličkového šroubu a matice. Pohybovou jednotku s kuličkovým šroubem spojuje pružná spojka. Posuv matice je korigován kluzným vedením. K horní části matice je připevněn držák táhel a tyto táhla jsou spojena s rameny. Tím se převádí pohyb matice na ramena. Ty zajišťují paralelní pohyb čelistí.



Obr. 17 – Řez efektozem

Parametry

Hmotnost: cca 8,8 kg

Max. rozměry:

v uzavřeném stavu: délka 642 mm
šířka 150 mm

v otevřeném stavu: délka 577 mm
šířka 408 mm

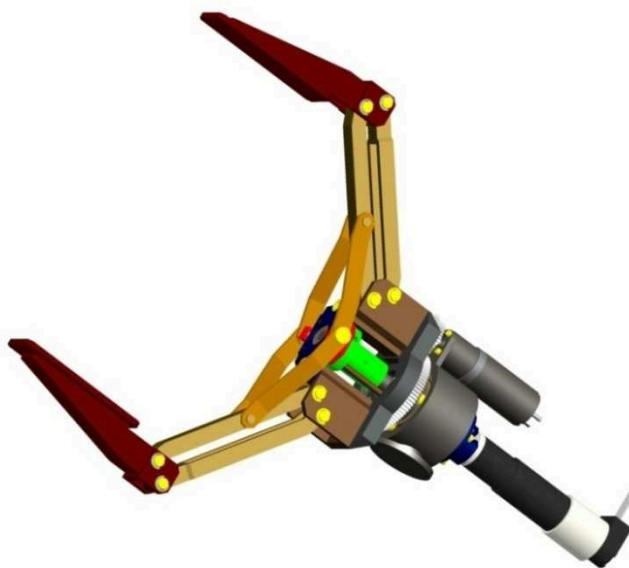
Rozevření čelistí: 330 mm

Výhody:

- dostatečné rozevření čelistí
- přijatelná hmotnost
- dostatek prostoru pro OM mezi čelistmi a táhly

Nevýhody:

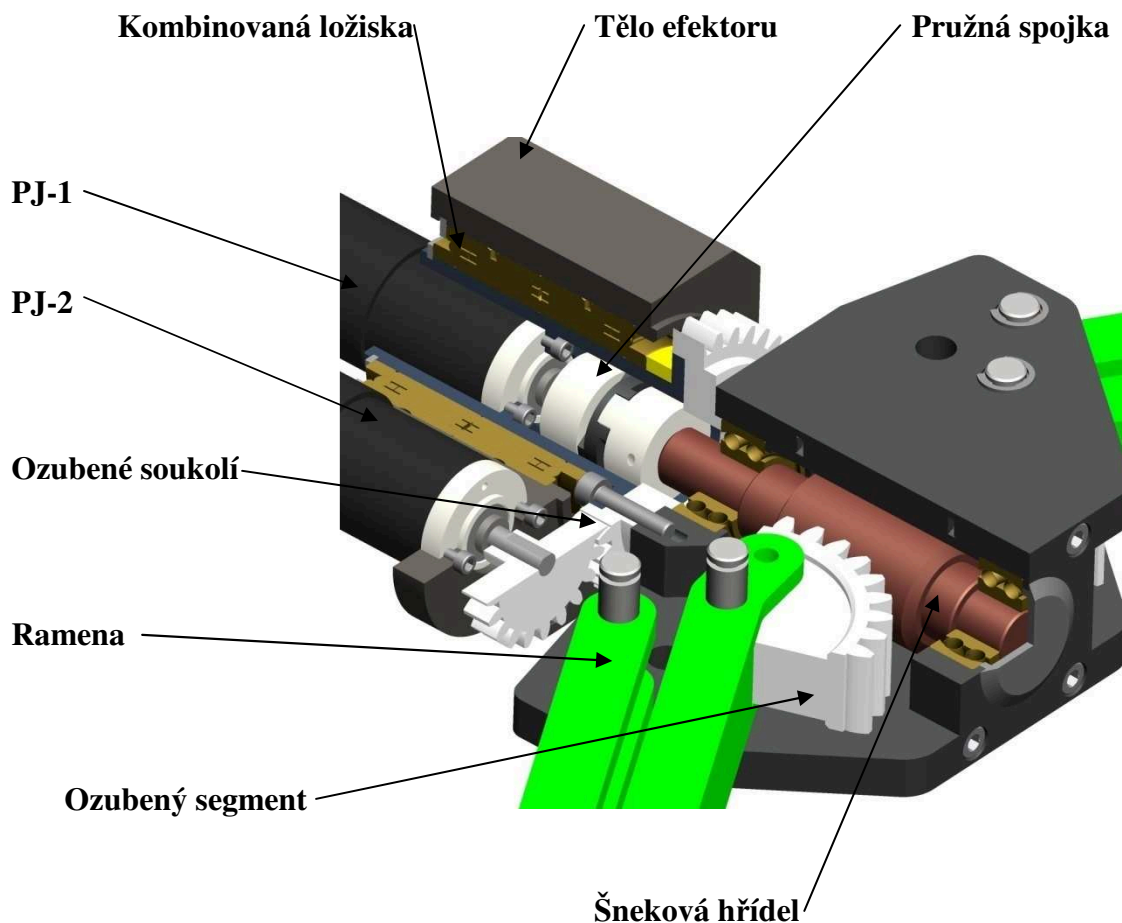
- velké rozměry
- špatné silové poměry
- rotace PJ při rotaci efektoru kolem své osy



Obr. 18 – 3D model varianty B

4.3. Varianta C

Varianta C (Obr. 19, 20) obsahuje dvě pohybové jednotky (PJ). Jedna slouží k rotaci efektoru kolem své osy a druhá k pohybu čelistí. Rotaci efektoru zajišťuje PJ-2, kde krouticí moment je převáděn na efektor ozubeným soukolím s přímými zuby. Rotační část efektoru je uložena v těle efektoru pomocí dvou kombinovaných kuličkových ložisek. Pohyb ramen umožňuje mechanismus složený z šnekového převodu. Krouticí moment PJ-1 přenáší pružná spojka na šnekovou hřídel, která zabírá do ozubených segmentů. Segmenty jsou připevněny k ramenům střížným kolíkem a čepem. Krouticí moment přenáší střížný kolík. Čelisti jsou spojeny s rameny čepy, jejich pohyb je paralelní.



Obr. 19 – Řez efektozem

Parametry

Hmotnost: cca 10,1 kg

Max. rozměry:

v uzavřeném stavu: délka 539 mm
šířka 170 mm

v otevřeném stavu: délka 471 mm
šířka 418 mm

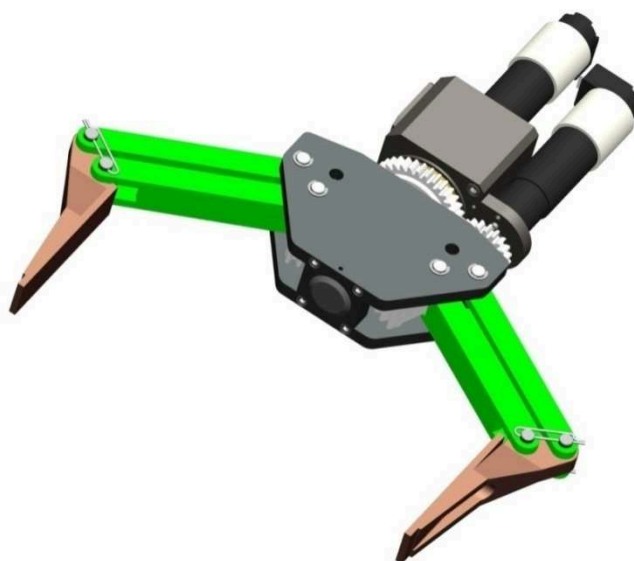
Rozevření čelistí: 314 mm

Výhody:

- dostatečné rozevření čelistí
- přijatelná hmotnost
- samosvorný šnekový převod
- přijatelné rozměry

Nevýhody:

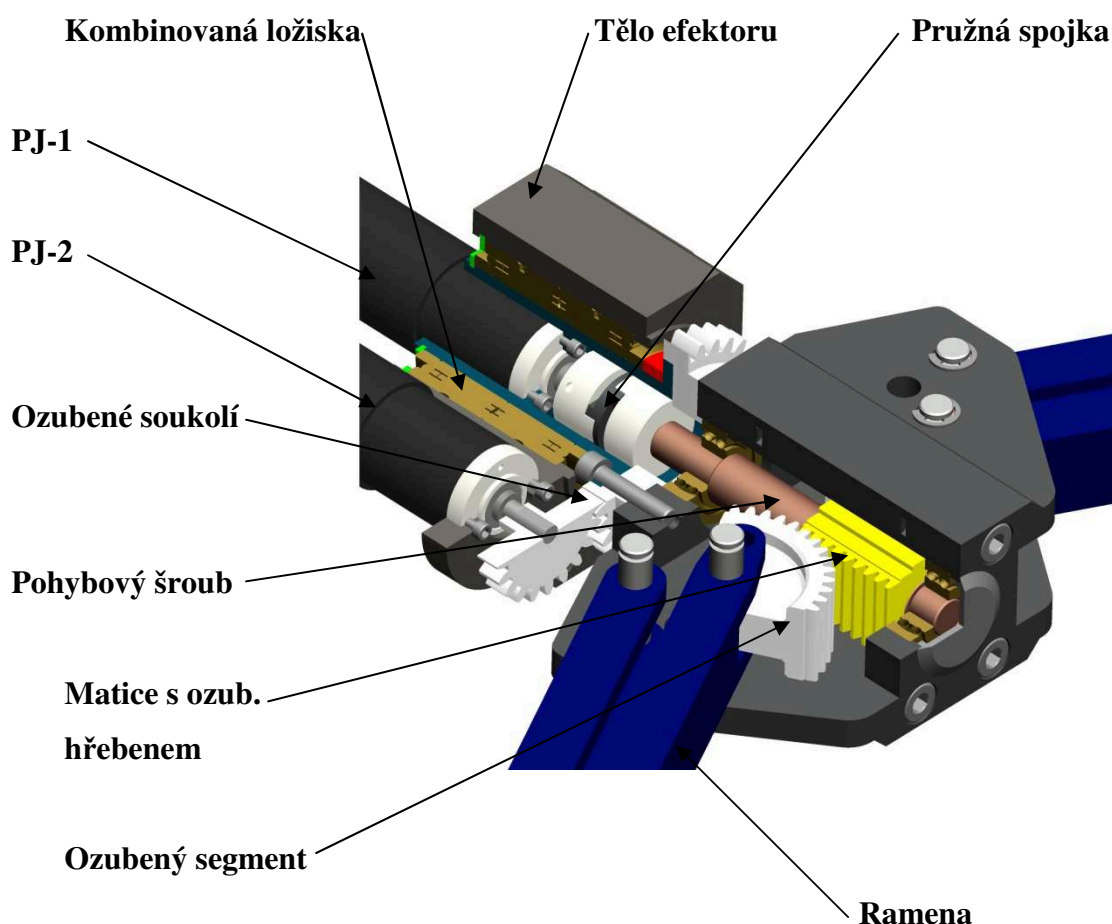
- konstrukční složitost
- montáž ozubených segmentů
- rotace PJ při rotaci efektoru kolem své osy



Obr. 20 – 3D model varianty C

4.4. Varianta D

Varianta D (Obr. 21, 22) je kombinací variant B a C. Přenos krouticího momentu PJ-1 na ramena je uskutečněn pomocí pohybového šroubu, po kterém se pohybuje matice s ozubeným hřebenem. Tento hřeben zabírá do ozubených segmentů, které převádějí rotační pohyb na ramena a takto dochází k pohybu čelistí. Čelisti se pohybují paralelně. Rotaci efektoru zajišťuje PJ-2, která přenáší výstupní krouticí moment na efektor pomocí ozubeného soukolí. Rotační část efektoru je uložena v těle efektoru pomocí dvou kombinovaných kuličkových ložisek.



Obr. 21 – Řez efektozem

Parametry

Hmotnost: cca 9,4 kg

Max. rozměry:

v uzavřeném stavu: délka 519 mm
šířka 160 mm

v otevřeném stavu: délka 439 mm
šířka 418 mm

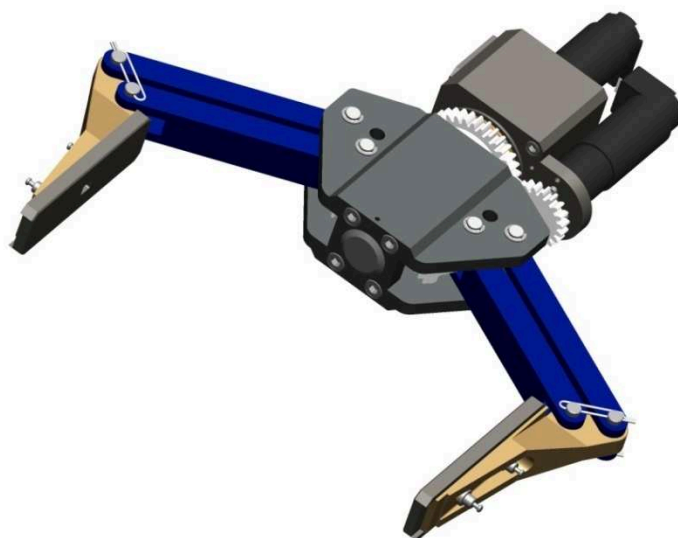
Rozevření čelistí: 305 mm

Výhody:

- přijatelná hmotnost
- přijatelné rozměry
- dostatečné rozevření čelistí
- dobré silové poměry
- samosvornost pohybového šroubu

Nevýhody:

- montáž ozubených kol k ramenům
- rotace PJ při rotaci efektoru kolem své osy



Obr. 22 – 3D model varianty D

5. Hodnotová analýza

5.1. Jednotlivá kritéria rozhodování

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	složitost konstrukce	složitost výroby součástí a jejich montáž
K2	hmotnost	váha efektoru
K3	rozevření/zdvih	rozevření čelistí/délka pohybu zdvihu
K4	druh pohybu čelistí	způsob rozevření čelistí vůči sobě
K5	max. rozměry	maximální rozměry efektoru, v uzavřeném a otevřeném stavu

Tab. 1 – Popis kritérií a jejich charakteristika

Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D
K1 – složitost konstrukce	složitá	přijatelná	složitá	přijatelná
K2 – hmotnost	12,8Kg	8,8Kg	10,1Kg	9,4Kg
K3 – rozevření/zdvih	390mm/77mm	330mm/50mm	318mm/0mm	305mm/36mm
K4 – druh pohybu čelistí	singulární	paralelní	paralelní	paralelní
K5 – max. rozměry (výška/šířka)	516mm/ 544mm	642mm/ 408mm	539mm/ 418mm	519mm/ 418mm

Tab. 2 – Vyjádření kritérií u jednotlivých variant

5.2. Možné ohodnocení kritérií

Vysoká úroveň	6b.
Dobrá úroveň	5b.
Průměrná úroveň	4b.
Nízká úroveň	3b.
Nevyhovující úroveň	2b.
Nepříznivý stav	1b.

5.3. Zhodnocení kritérií pro jednotlivé varianty

	Kriterium 1	Kriterium 2	Kriterium 3	Kriterium 4	Kritérium 5
Varianta A	3	3	4	1	5
Varianta B	5	6	5	6	3
Varianta C	4	4	6	6	5
Varianta D	5	5	5	6	6

Tab. 3 – Hodnocení kritérií jednotlivých variant

5.4. Váha významnosti jednotlivých kritérií

Porovnané páry kritérií				Počet voleb v	pořadí	Váha významnosti q
K1 K2	K1 K3	K1 K4	K1 K5	0,5	5	1,125
	K2 K3	K2 K4	K2 K5	2,5	2	1,625
		K3 K4	K3 K5	1,5	3,4	1,375
			K4 K5	4	1	2
				1,5	3,4	1,375

Tab. 4 – Váha významnosti jednotlivých variant

Pro váhu významnosti q byla zvolená lineární závislost: $q = 0,25 * v + 1$

v – počet voleb

5.5. Výpočet vážených indexů jednotlivých variant

Kritérium	Varianta A		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Vážený index kritéria l_{ij}
K1	3	1,125	3,3375
K2	3	1,625	4,875
K3	4	1,375	5,5
K4	1	2	2
K5	5	1,375	6,875
Celkový součet vážených indexů l_{ij} varianty A:			22,535

Tab. 5 – Výpočet vážených indexů varianty A

Kritérium	Varianta B		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Vážený index kritéria l_{ij}
K1	5	1,125	5,625
K2	6	1,625	9,75
K3	5	1,375	6,875
K4	6	2	12
K5	3	1,375	4,125
Celkový součet vážených indexů l_{ij} varianty B:			38,375

Tab. 6 – Výpočet vážených indexů varianty B

Kritérium	Varianta C		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Vážený index kritéria l_{ij}
K1	4	1,125	4,5
K2	4	1,625	6,5
K3	6	1,375	8,25
K4	6	2	12
K5	5	1,375	6,875
Celkový součet vážených indexů l_{ij} varianty C:			38,125

Tab. 7 – Výpočet vážených indexů varianty C

Kritérium	Varianta D		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Vážený index kritéria l_{ij}
K1	5	1,125	5,625
K2	5	1,625	8,125
K3	5	1,375	6,875
K4	6	2	12
K5	6	1,375	8,25
Celkový součet vážených indexů l_{ij} varianty D:			40,875

Tab. 8 – Výpočet vážených indexů varianty D

5.6. Výsledky

Varianta	Celkový součet vážených indexů l_{ij}
A	22,535
B	38,375
C	38,125
D	40,875

Tab. 9 – Výsledky hodnotové analýzy

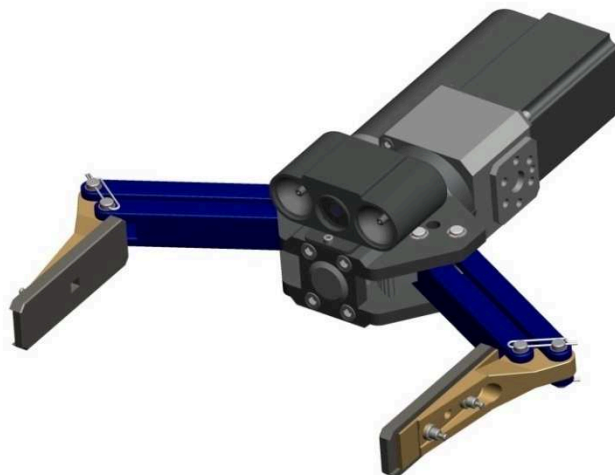
Na základě hodnotové analýzy byla zvolena optimální varianta a to varianta D [4].

6. Konstrukce efektoru

Konstrukci efektorů je třeba věnovat velkou pozornost, protože přímo ovlivňují možnosti využití manipulátorů nebo robotů. Základní požadavky lze shrnout do těchto bodů:

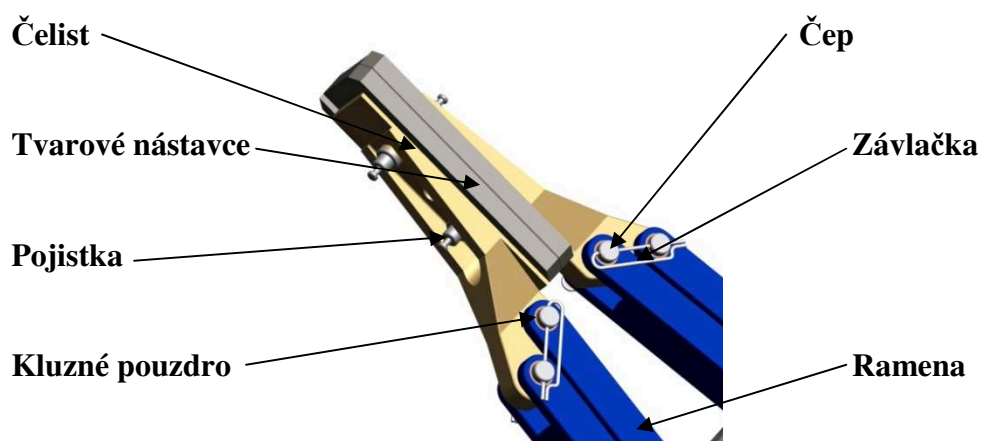
1. Minimální hmotnost – spolu s hmotností objektu nebo nástroje musí odpovídat nosnosti robotu udávané výrobcem a přímo ovlivňuje jejich využití.
2. Rozměry a prostorové uspořádání – přímo ovlivňují manipulační možnosti robotu a to zejména ve stísněných provozních podmínkách.

3. Provozní bezpečnost – je předpokladem pro co možná největší omezení možnosti zranění osob a poškození zařízení v okolí činnosti robotu.
4. Provozní spolehlivost – přímo ovlivňuje celkovou spolehlivost robotu. [8]



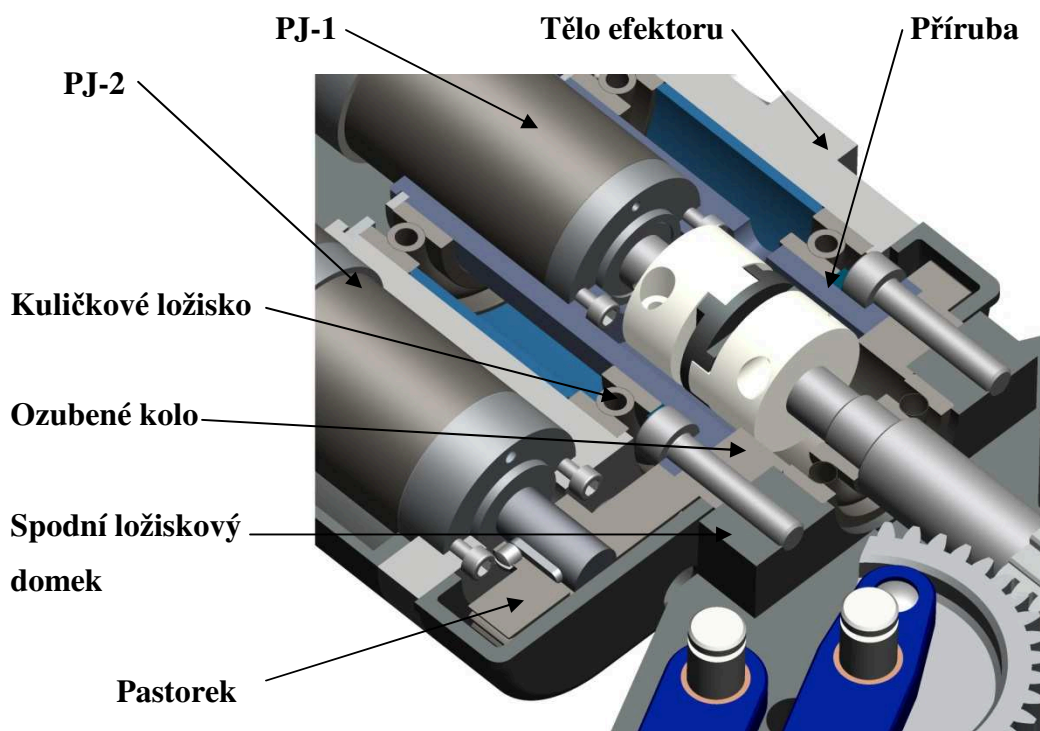
Obr. 23 – 3D model kompletní optimální varianty

Efektor (Obr. 23) slouží k uchopení OM různých tvarů a velikostí v rozmezí 0-305mm. Úchop zajišťují dvě čelisti vybavené tvarovými nastavci. Základní nastavce jsou potaženy kůží, aby měly co nejlepší uchopovací vlastnosti. Nastavce lze měnit, jelikož jsou pojištěny speciální pojistkou. Ta se při stlačení uvolní a lze ji snadno vyjmout bez nástrojů. Čelisti jsou připevněny k ramenům pomocí čepů uložených v kluzných ložiscích. Pro snadnější demontáž jsou čepy pojištěny proti uvolnění tvarovými závlačkami, které jdou snadno vytáhnout bez použití nástrojů. Čelisti se pohybují paralelně. Uložení čelistí je zobrazeno na (Obr. 24).



Obr. 24 – Uložení čelistí

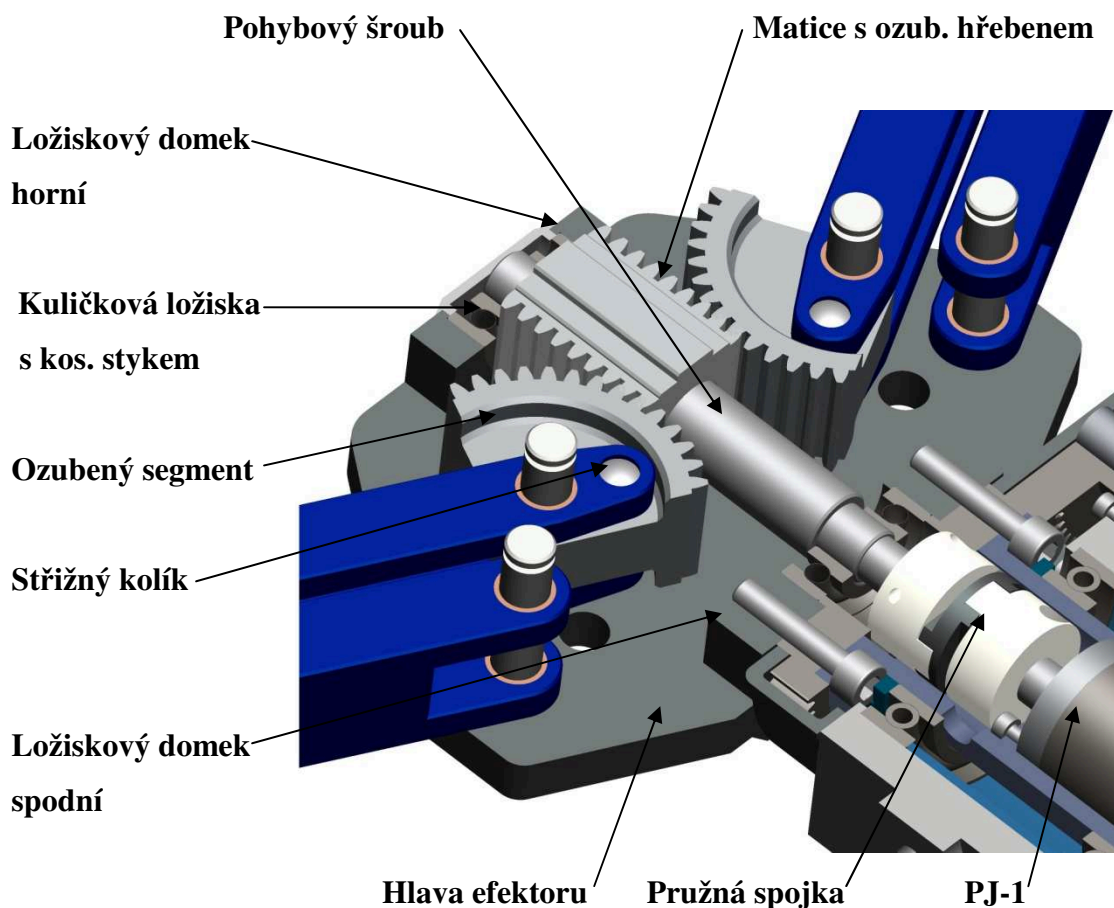
Pro lepší manipulaci s OM je efektor vybaven pohybovou jednotkou (Tab. 18), která zajišťuje rotaci efektoru kolem své osy. Krouticí moment pohybové jednotky (PJ) je převáděn pomocí ozubeného soukolí. Ozubené kolo je pevně uchyceno ke spodnímu ložiskovému domku s přírubou pro hlavní pohybovou jednotku. Na výstupní hřídeli převodovky je umístěn pastorek pojištěný šroubkem. Příruba je uložena v těle efektoru pomocí dvou kuličkových ložisek, pojištěných proti pohybu dvěma pojistnými kroužky. Mezi ložisky se nachází vymeazovací trubka.



Obr. 25 – Řez efektozem

Mechanismus převádějící krouticí moment PJ na čelisti (Obr. 26) je tvořen pohybovým šroubem uloženým ve dvou kuličkových jednořadých ložiscích s kosoúhlým stykem, které jsou umístěny ve dvou ložiskových domecích. Šroub je samosvorný, není tedy třeba brzdy. Po závitu pohybového šroubu se posouvá matice s ozubeným hřebenem, vedená v hlavové části efektoru. Ozubený hřeben zabírá do dvou ozubených segmentů symetricky uložených v hlavové části efektoru. Segmenty jsou pevně spojeny s rameny a při jejich rotaci dochází k hlavnímu pohybu čelistí. Dochází zde ke dvěma transformacím pohybu, a to z rotačního na lineární pomocí trapézového šroubu a matice s ozubeným hřebenem, druhá transformace je mezi ozubeným hřebenem a ozubenými segmenty, u které dochází

k transformaci lineárního pohybu na rotační. S ohledem na snížení hmotnosti jsou ozubené segmenty tvořeny jen funkční částí ozubených kol, které byly upraveny tak, aby zabírali co nejméně místa.

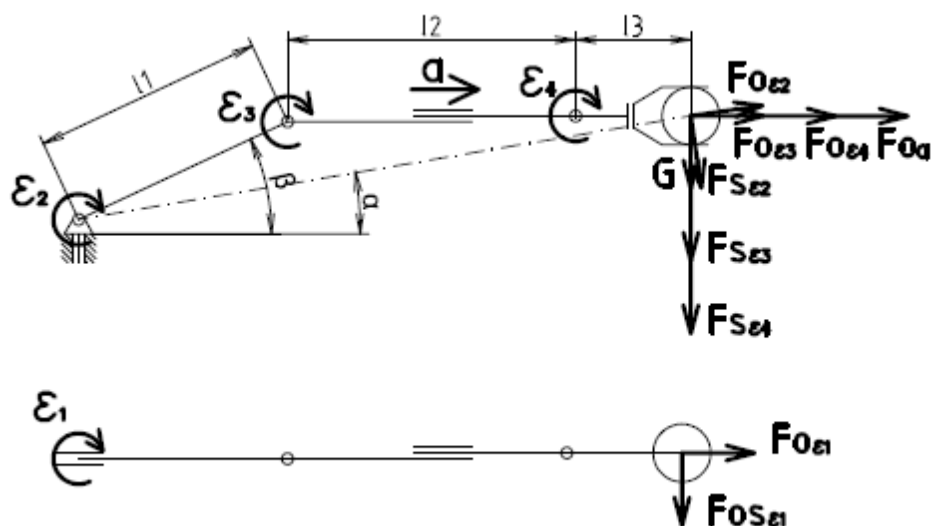


Obr. 26 – Řez hlavovou částí efektoru

Ramena jsou uložena v hlavové části efektoru pomocí čepů, pojištěnými z obou stran jistícími kroužky. Čepy jsou uloženy v kluzných ložiscích. Při jejich poškození je lze snadno vyměnit.

7. Výpočet hlavních parametrů efektoru

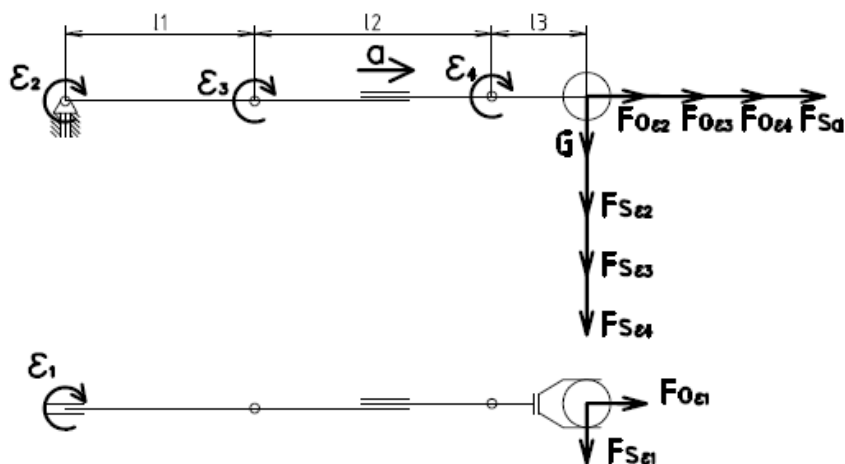
7.1. Kinematická analýza použitého ramena robotu



Obr. 27 - Kinematické schéma ramena robotu

7.1.1. Nejméně vhodná poloha ramena robotu pro uchopení OM

Na obrázku (Obr. 28) je zobrazena nejméně vhodná poloha ramene robotu. Rameno je rovnoběžně se zemí. Vyložení ramene je maximální (dílčí rameno l_2 je vysouvateľné). V tomto stavu celé rameno ($l_1 + l_2 + l_3$) začíná zpomalovat z maximální rychlosti ω_1 , ω_2 zrychlením ε_1 , ε_2 . Ty vyvozují setrvačné síly F_{Se1} a F_{Se2} . Rychlosti ω_1 a ω_2 , vyvozují odstředivé síly $F_{Oε1}$ a $F_{Oε2}$. Dílčí rameno l_2 se začne zasouvat zrychlením a , vyvozující setrvačnou sílu F_{Sa} a rotovat zrychlením ε_3 , vyvozující setrvačnou sílu F_{Se3} . Efektor začne rotovat zrychlením ε_4 , to vyvozuje setrvačnou sílu F_{Se4} .



Obr. 28 – Schéma ramena robotu v nehorší poloze

7.1.2. Výpočet působících sil na OM

Dáno, voleno	Výpočty	Výsledky
Síly působící na OM		
	<i>Použité vzorce</i>	
$m = 8\text{Kg}$	$G = g \cdot m, F_O = m \cdot a_n, F_S = m \cdot a_t, a_n = R \cdot \varpi^2, a_t = R \cdot \varepsilon,$	
$\varepsilon_1 = 0,5\text{rad/s}$		
$\varepsilon_2 = 0,5\text{rad/s}$	<i>Maximální délka ramene robotu</i>	
$\varepsilon_3 = 0,5\text{rad/s}$	$l_c = (l_1 + l_2 + l_3) = (0,95 + 1,1 + 0,345) = \underline{\underline{2,395m}}$	$l_c = 2,395m$
$\varepsilon_4 = 0,5\text{rad/s}$		
$a = 0,5\text{m/s}^2$	<i>Gravitační síla</i>	
$\omega_{1,2} = 0,5\text{m/s}$	$G = g \cdot m = 9,81 \cdot 8 = \underline{\underline{78,48N}}$	$G = 78,48N$
$l_1 = 0,95\text{mm}$		
$l_2 = 1,1\text{mm}$	<i>Odstředivé síly</i>	
$l_3 = 0,345\text{mm}$	$F_{O\varepsilon 1} = m \cdot l_c \cdot \varpi_1^2 = 8 \cdot 2,395 \cdot 0,5^2 = \underline{\underline{4,79N}}$	$F_{O\varepsilon 1} = 4,79N$
$g = 9,81\text{ms}^{-2}$	$F_{O\varepsilon 2} = m \cdot l_c \cdot \varpi_2^2 = 8 \cdot 2,395 \cdot 0,5^2 = \underline{\underline{4,79N}}$	$F_{O\varepsilon 2} = 4,79N$
<i>(Grafické zobrazení obr. 28)</i>	<i>Setrvačná síla (translace)</i>	
	$F_{Sa} = m \cdot a = 8 \cdot 0,5 = \underline{\underline{4N}}$	$F_{Sa} = 4N$

	<p><i>Setrvačné síly (rotace)</i></p> $F_{Se1} = m \cdot l_c \cdot \varepsilon_1 = 8 \cdot 2,395 \cdot 0,5 = \underline{\underline{9,58N}}$ $F_{Se2} = m \cdot l_c \cdot \varepsilon_2 = 8 \cdot 2,395 \cdot 0,5 = \underline{\underline{9,58N}}$ $F_{Se3} = m \cdot (l_2 + l_3) \cdot \varepsilon_3 = 8 \cdot 1,435 \cdot 0,5 = \underline{\underline{5,78N}}$ $F_{Se4} = m \cdot l_3 \cdot \varepsilon_4 = 8 \cdot 0,345 \cdot 0,5 = \underline{\underline{1,38N}}$	$F_{Se1} = 9,58N$ $F_{Se2} = 9,58N$ $F_{Se3} = 5,78N$ $F_{Se4} = 1,38N$
--	---	---

Tab. 10 – Výpočet působících sil na OM

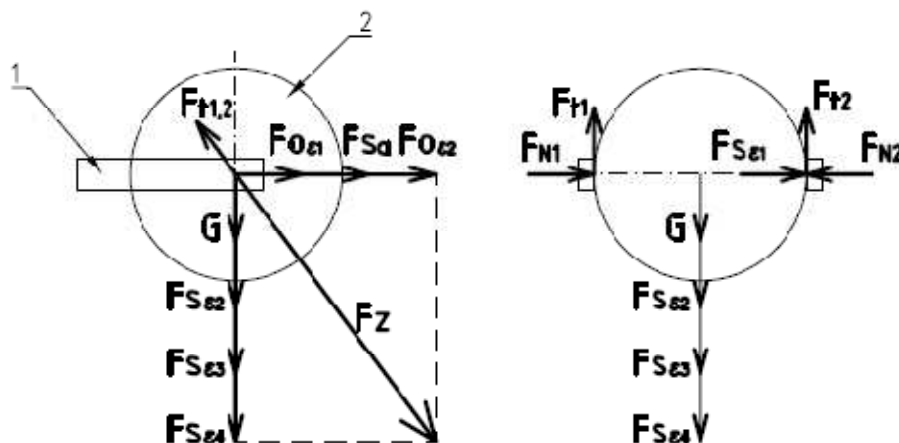
7.2. Návrh konfigurace čelistí a určení sil na ně působících

Jedním z požadavků pro návrh efektoru bylo, že má mít možnost uchopení objektu manipulace (OM) různých tvarů, s rozevřením čelistí cca 300mm. Pohyb čelistí má být paralelní. Proto volím efektor se dvěma čelistmi s pohybovým mechanismem zajišťující paralelní pohyb. Pro výpočet používám OM ve tvaru koule, čelisti s rovnými dotyky. Tato možnost je nejhorší k upnutí.

7.2.1. Výpočet upínací síly

Dáno, voleno	Výpočty	Výsledky
Součinitel bezpečnosti		
$k_1 = 1,2$ $k_2 = 1,2$ $k_3 = 1$ $k_4 = 1,2$ $k_5 = 1$ $k_6 = 1,15$ ([7], str. 46)	$k' = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,15 = \underline{\underline{1,987}}$ $\text{volím } k = 2$	$k' = 1,987$ $k = 2$

Tab. 11 – Výpočet součinitele bezpečnosti



1 – čelist, 2 – objekt manipulace (OM)

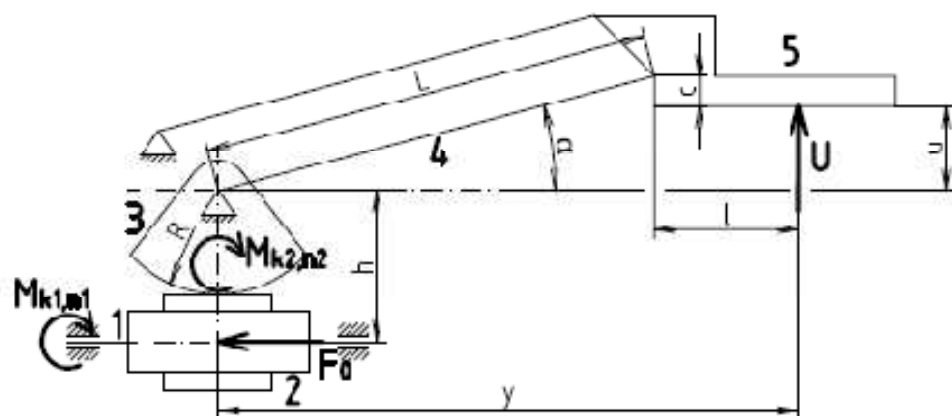
Obr. 29 – Síly působící na OM

Dáno, voleno	Výpočty	Výsledky
Upínací síla		
<p><i>Ocel-kůž</i></p> <p>$f = 0,3$</p> <p>[9]</p> <p>$k = 2$</p> <p>$G = 78,48N$</p> <p>$F_{Oε1} = 4,79N$</p> <p>$F_{Oε2} = 4,79N$</p> <p>$F_{Sε1} = 9,58N$</p> <p>$F_{Sε2} = 9,58N$</p> <p>$F_{Sε3} = 5,78N$</p> <p>$F_{Sε4} = 1,38N$</p> <p>$F_{Sa} = 4N$</p> <p>(Grafické znázornění Obr. 29)</p>	<p><i>Třecí síla</i></p> <p>$\Sigma F_i = 0$</p> <p>$F_{t1} + F_{t2} - F_Z = 0$</p> <p>$F_{t1} = F_{t2} \Rightarrow F_{t1} + F_{t2} = 2 \cdot F_{t1}$</p> <p>$F_{t1} = \frac{F_Z}{2} = \frac{96,18}{2} = \underline{\underline{48,1N}}$</p> <p><i>Výslednice odstředivých a setrvačných sil</i></p> <p>$F_Z = \sqrt{(F_{Oε1} + F_{Oε2} + F_{Sa})^2 + (F_{Sε2} + F_{Sε3} + F_{Sε4} + G)^2} =$</p> <p>$F_Z = \sqrt{(4,79 + 4,79 + 4)^2 + (9,58 + 5,78 + 1,38 + 78,48)^2} =$</p> <p>$F_Z = 96,18N$</p> <p><i>Normálová síla</i></p> <p>$F_N = \frac{k \cdot F_t}{f}$</p> <p>$F_{N1} = F_{N2}$</p> <p>$F_{N1} = \frac{k \cdot F_{t1}}{f} = \frac{2 \cdot 48,1}{0,3} = \underline{\underline{320,6N}} = -F_{N2}$</p>	<p>$F_{t1} = 48,1N$</p> <p>$F_Z = 96,18N$</p> <p>$F_{N1} = 320,6N$</p>

	<p><i>Celková upínací síla</i></p> $U = 2 \cdot F_{N1} + F_{Se1} = 2 \cdot 320,61 + 9,58 = \underline{\underline{650,8N}}$	$U = 650,8N$
--	--	--------------

Tab. 12 – Výpočet upínací síly [6]

7.2.2. Výpočet síly působící v ose šroubu



1 – trapezový šroub, 2 – matice s ozub. hřebenem, 3 – ozubené kolo, 4 – rameno, 5 – čelist

Obr. 30 – Schéma mechanismu

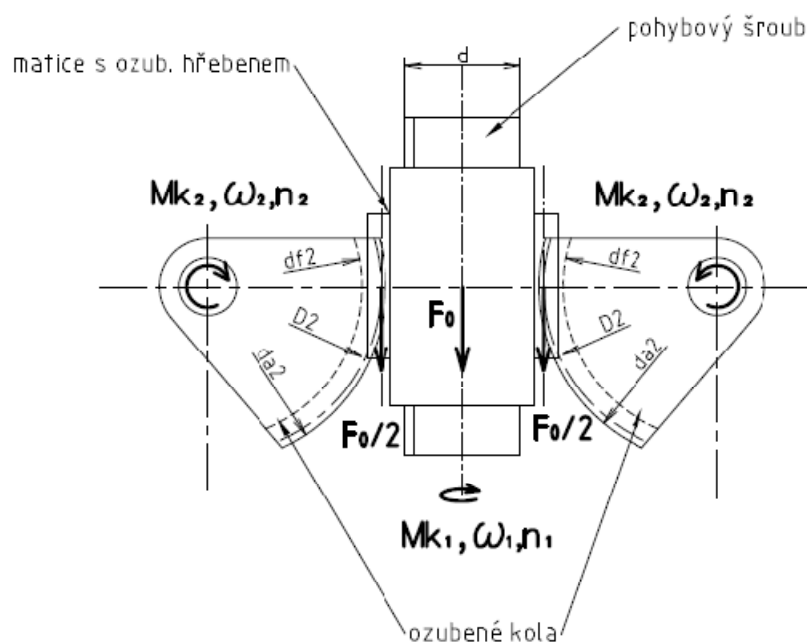
Potřebný krouticí moment pro uchopení objektu manipulace (OM) se mění v závislosti na otevření čelistí, nejhorší situace pro uchopení OM, je když ramena efektoru jsou rovnoběžně s osou šroubu na obrázku (Obr. 30) y je maximální. Pro tuto situaci je upraven celý výpočet.

Dáno, voleno	Výpočty	Výsledky
Síla působící v ose šroubu		
$L = 0,15m$ $\alpha = 0^\circ$ $l = 0,065m$	<p><i>Maximální momentové rameno</i></p> $y = L \cdot \cos \alpha + l = 0,15 \cdot \cos 0 + 0,065 = \underline{\underline{0,215m}}$	$y = 0,215m$

$R = 0,03m$ $U = 650,8N$ (Grafické znázornění Obr. 30) $y = 0,215m$	<i>Síla působící v ose šroubu</i> $\sum M_i = 0$ $F_0 \cdot R - U \cdot y = 0$ $F_0 = \frac{U \cdot y}{R} = \frac{650,8 \cdot 0,215}{0,03} = \underline{\underline{4664,1N}} = F_{0max}$ <i>Krouticí moment potřebný k uchopení OM</i> $M_{k2max} = \frac{U}{2} \cdot y = \frac{650,8}{2} \cdot 0,215 = \underline{\underline{70Nm}}$ <i>Převodový poměr</i> $\frac{U}{F_0} = \frac{R}{y} = \frac{0,03}{0,215} = \underline{\underline{0,14}}$	$F_0 = 4664,1N$ $M_{k2max} = 70Nm$ $U/F_0 = 0,14$
--	---	---

Tab. 13 – Výpočet síly působící v ose šroubu [6]

7.3. Výpočet krouticího momentu na šroubu



Obr. 31 – Kinematické schéma transformačního bloku

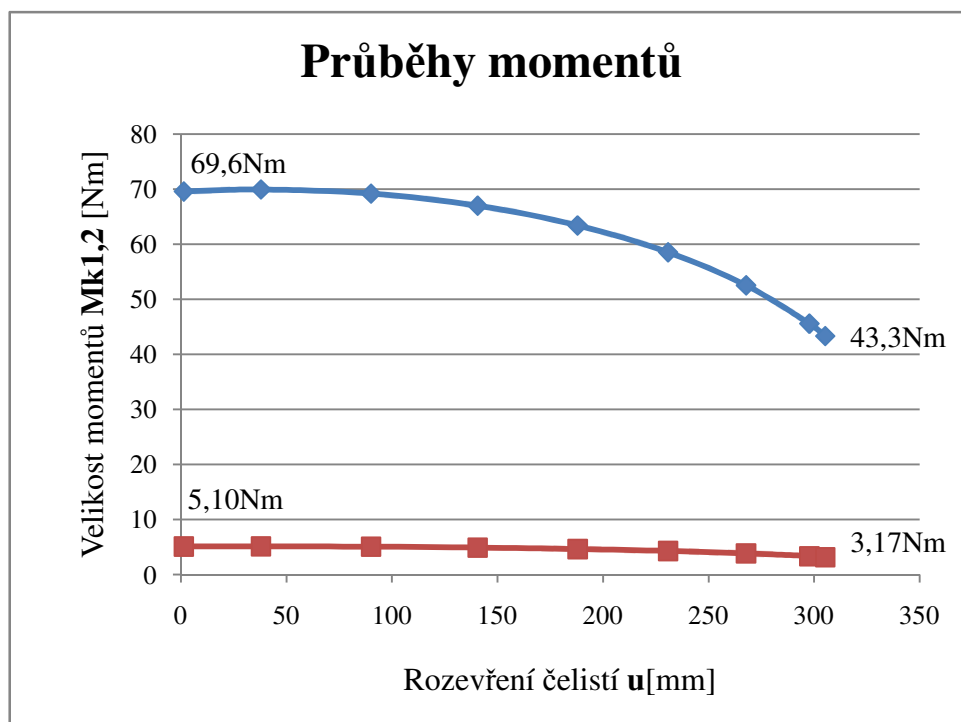
Z konstrukčních důvodů byl zvolen lichoběžníkový rovnoramenný jednochodý šroub Tr16x2 a k němu příslušná matice zhotovená v oboustranném ozubeném hřebenu.

Dáno, voleno	Výpočty	Výsledky
Krouticí moment na šroubu		
$F_0 = 4664,1N$ $d = 16mm$ $d_2 = 15mm$ $d_3 = 13,5mm$ $P_h = 2mm$ ([5], str. 383) Ocel-ocel $f_z = 0,1$ [9] $\alpha = 30^\circ$ (Grafické znázornění Obr. 31)	<i>Potřebný krouticí moment na šroubu</i> $M_{kl} = F_o \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} =$ $M_{kl} = 4664,1 \cdot \operatorname{tg}(2,43 + 5,91) \cdot \frac{0,015}{2} = \underline{\underline{5,128Nm}}$ <i>Úhel stoupání závitu</i> $\psi = \operatorname{arctg} \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \operatorname{arctg} \frac{2}{\pi \cdot 15} = \underline{\underline{2,43^\circ}}$ <i>Redukovaný třecí úhel</i> $\varphi' = \operatorname{arctg} \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \operatorname{arctg} \frac{0,1}{\cos \frac{30^\circ}{2}} = \underline{\underline{5,91^\circ}}$ $\varphi' > \psi \Rightarrow \text{závit je samosvorný}$	$M_{kl} = 5,128Nm$ $\psi = 2,43^\circ$ $\varphi' = 5,91^\circ$

Tab. 14 – Výpočet potřebného krouticího momentu v ose šroubu [3]

Jak už bylo napsáno dříve, potřebný krouticí moment k uchopení objektu manipulace (OM) se mění v závislosti na otevření čelistí. Na obrázku (Obr. 32) je graf s průběhem momentů, potřebných k vyvození upínací síly pro uchopení OM o hmotnosti 8 kg. Je to maximální nosnost efektoru, která lze vyvodit v celém rozsahu pohybu čelistí. Červeně je zobrazen krouticí moment na výstupu pohybové jednotky. Modře je zobrazen krouticí moment na ozubených segmentech.

Při maximálním rozevření čelistí (305 mm) a maximálním krouticím momentu PJ (5,16 Nm) může efektor uchopit OM o hmotnosti až 13 kg.



Obr. 32 - Graf průběhů momentů

8. Návrh pohybových jednotek

Efektor je poháněn dvěma pohybovými jednotkami (PJ). Hlavní pohybová jednotka PJ-1 slouží jako pohon pro mechanismus zajišťující pohyb čelistí. Druhá pohybová jednotka PJ-2 slouží k rotaci efektoru kolem své osy.

Pohybové jednotky jsou od firmy MAXON, skládají se z elektromotoru, planetové převodovky a elektronického snímače. Protože pohybový mechanismus PJ-2 není samosvorný, obsahuje navíc brzdu.

8.1. Pohybová jednotka PJ-1

Výstupní moment pohybové jednotky musí být rovný nebo větší než vypočtený požadovaný krouticí moment potřebný k vyvození upínací síly (Tab. 14).

Dáno, voleno	Výpočty	Výsledky
Návrh pohybové jednotky PJ-1		
$M_{km} = 93,3 \text{ Nmm}$ $i_p = 79$ $\eta_p = 0,7$ $M_{kl} = 5,128 \text{ Nm}$ <p>(příloha – 4, 5)</p>	<i>Krouticí moment PJ-1</i> $M_{kp} = M_{km} \cdot i \cdot \eta_p = 0,0933 \cdot 79 \cdot 0,7 = \underline{\underline{5,16 \text{ Nm}}}$ $M_{kp} \leq M_{kl} \Rightarrow \text{vyhovuje}$	$M_{kp} = 5,16 \text{ Nm}$

Tab. 15 – Návrh pohybové jednotky

MOTOR	
Typ	Re 35
Výkon	90 W
Napětí	24 V
Nominální otáčky	6910 ot/min
Maximální otáčky	7670 ot/min
Nominální moment	93,3 Nmm
Maximální moment	1160 Nmm
Hmotnost	340 g
PŘEVODOVKA	
Typ	Planetová převodovka GP 32 HP
Počet stupňů	3 st
Účinnost	0,7
Max přenášený M_k	8 Nm
Převodový poměr	79
Hmotnost	213 g
SNÍMAČ	
Typ	HEDL 5540
Počet kanálů	3
Max. frekvence	100 kHz
Přesnost	500 imp./ot.
Hmotnost	40 g

Tab. 16 - Parametry jednotlivých částí PJ-1 [10]

8.2. Pohybová jednotka PJ-2

Výstupní moment pohybové jednotky musí být rovný nebo větší než vypočtený požadovaný krouticí moment potřebný k rotaci efektoru při nejméně vhodné situaci (příloha 1 – str. 20).

Dáno, voleno	Výpočty	Výsledky
Návrh pohybové jednotky PJ-2		
$M_{km} = 105 \text{ Nmm}$ $i_p = 103$ $\eta_p = 0,7$ $M_{kp} = 6,76 \text{ Nm}$ (příloha 4, 5)	<i>Krouticí moment PJ-2</i> $M_{kp} = M_{km} \cdot i \cdot \eta_p = 0,105 \cdot 103 \cdot 0,7 = \underline{\underline{7,57 \text{ Nm}}}$ $M_{kp} \leq M_k \Rightarrow \text{vyhovuje}$	$M_{kp} = 7,57 \text{ Nm}$

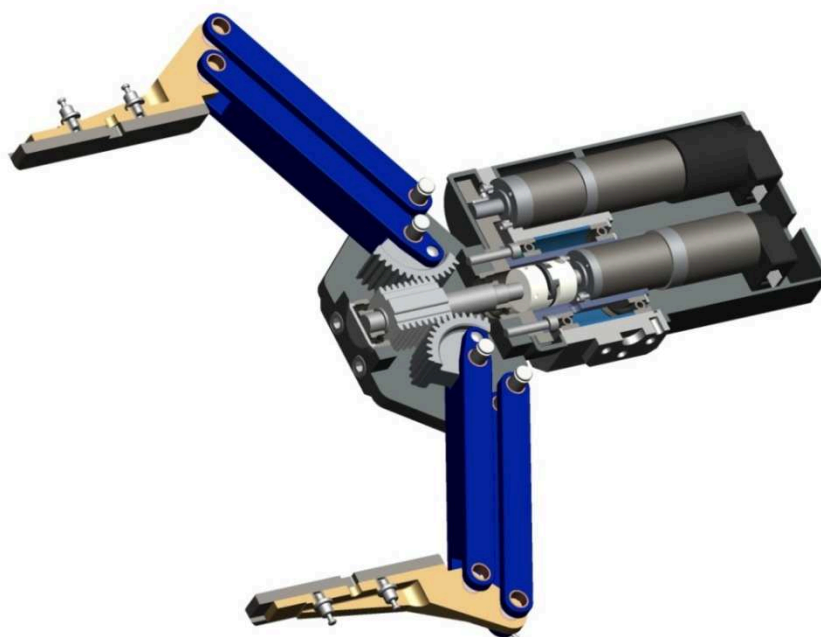
Tab. 17. – Návrh pohybové jednotky

MOTOR	
Typ	Re 35
Výkon	90 W
Napětí	48 V
Nominální otáčky	1710 ot/min
Maximální otáčky	2570 ot/min
Nominální moment	105 Nmm
Maximální moment	320 Nmm
Hmotnost	340 g
PŘEVODOVKA	
Typ	Planetová převodovka GP 32 HP
Počet stupňů	3 st
Účinnost	0,7
Max přenášený M_k	8 Nm
Převodový poměr	103
Hmotnost	213 g

SNÍMAČ	
Typ	HEDL 5540
Počet kanálů	3
Max. frekvence	100 kHz
Přesnost	500 imp./ot.
Hmotnost	40g
BRZDA	
Typ	AB 28
Brzdny moment	0,4 Nm
Napětí	24 V

Tab. 18 – Parametry jednotlivých částí PJ-2 [10]

9. Montáž



Obr. 33 – Řez efektořem

Postup montáže bude proveden podle sestavného výkresu BEN337-ROB01-S1 (příloha 2) a budou zde použity odkazy na čísla pozic jednotlivých součástí v sestavě, označeny v hranatých závorkách.

Hlavová část efektoru

Do obou ložiskových domků jsou nalisována jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem [41]. Hlavové části efektoru [7] jsou sešroubovány se spodním ložiskovým domkem [3] pomocí čtyř šroubů M8 [42] a ustaveny dvěma kolíky [56]. V ložisku [41] je nalisovaný pohybový šroub [23] s našroubovanou maticí [24]. Horní ložiskový domek [8] je umístěn do hlavové části efektoru [7] a přišroubován čtyřmi šrouby M8 [42]. Ke spodní části pohybového šroubu je připevněna pružná spojka [32] pomocí svěrného spoje. Ramena [9, 10] jsou připevněna k hlavové části efektoru pomocí čepů [49], které jsou uloženy v kluzných ložiscích [53] a pojištěny jistícími kroužky [54]. Hlavní ramena [9] jsou spojena s ozubenými segmenty [25] čepy a střížným kolíkem [48], který je vložen přes montážní otvor. Čelisti [16] jsou k ramenům také připevněny pomocí čepů [52], které jsou uloženy v kluzných ložiscích [50, 51] a pojištěny tvarovými závlačkami [47]. Vyměnitelné nástavce [17] jsou umístěny na čelistech a pojištěny pojistkami [33]. K hlavové části je přišroubována kamera s osvětlením [29] šrouby M4 [46].

Pohybové jednotky

Pohybová jednotka [30] je přišroubována k přírubě [3] čtyřmi šrouby M3 [43]. K pohybové jednotce je připevněna druhá část pružné spojky [32] pomocí svěrného spoje, který je dotáhnut přes montážní otvor v přírubě.

K tělu efektoru [1] je přišroubován držák [4] pohybové jednotky [31] pomocí dvou šroubů M6 [40]. Pohybová jednotka je přišroubována k držáku pomocí čtyř šroubů M3 [43]. Na výstupní hřídeli pohybové jednotky je uložen pastorek [26], který je pojištěn šroubkem [55].

Tělo efektoru

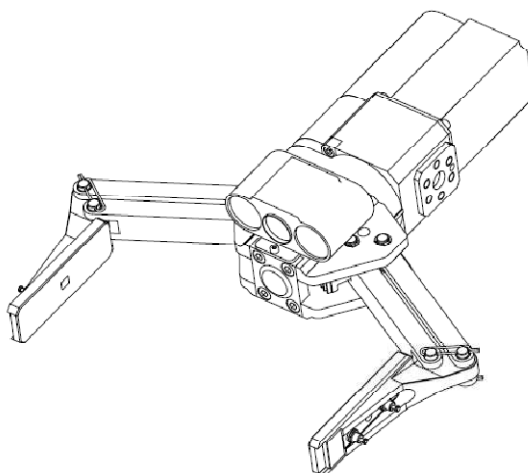
Ke spodnímu ložiskovému domku [42] je přišroubované ozubené kolo [22] s přírubou [3] pěti šrouby M6 [38] a pojištěno střížným kolíkem [39]. Na přírubu je nasunut vymezovací

kroužek [6]. Do těla efektoru jsou nalisovány dvě kuličková jednořadá ložiska [35] rozdělena vymežovací trubicí [2] a pojištěna proti posuvu pojistným kroužkem [37]. Celá tato sestava je nasunuta na přírubu a pojištěna pojistným kroužkem [36]. Obě pohybové jednotky jsou chráněny proti nečistotám kryty. Kryt 1 [12] je nasunutý do držáku pohybové jednotky [4] a kryt 2 [13] je nasazen na něj a přišroubován k tělu efektoru čtyřmi šrouby M5 [44]. Na ozubeném soukolí se také nachází dva kryty [14, 15], které jsou zasunuty do sebe a přišroubovány dvěma šrouby M5 [45].

10. Technické parametry

Celková upínací síla:	650 N
Krouticí moment v ose efektoru:	13 Nm
Hmotnost:	8,45 kg
Posuv matice:	36,5 mm
Rozevření čelistí:	305 mm
Rotace kolem své osy:	-95°/+95°

Rozměry:	otevřený stav	délka:	467 mm
		šířka:	420 mm
	uzavřený stav	délka:	548 mm
		šířka:	160 mm



Obr. 34 – Axonometrický pohled efektoru ve 2D

11. Závěr

Dle zadaných požadavků vznikly čtyři varianty řešení. Pomocí hodnotové analýzy byla vybrána optimální varianta, která byla dále rozpracována do požadované podoby.

Varianta A vznikla na základě požadavků, které byly stanoveny v počátku bakalářské práce. Tato varianta byla konzultována s vedoucím bakalářské práce a následně z důvodu změn požadavků pro návrh efektoru byla zavržena. Na základě nových požadavků byly vypracovány varianty řešení (B, C a D). Všechny tyto varianty mají možnost rotace kolem své osy. Konstrukce varianty B byla poměrně jednoduchá. Transformační blok zajišťující úchop OM byl tvořen kuličkovým šroubem a maticí. Tyto komponenty lze zakoupit, a proto výrobní náklady nejsou příliš vysoké. Ovšem nevýhodou je velikost komponentů, které podstatně zvětšují rozměry efektoru. Transformační blok varianty C je úplně jiný, je zde použit šnekový převod, který podstatně zmenšil rozměry efektoru. Šnekový převod je samosvorný, proto zde není použita brzda, což je výhoda nízké ceny, menších rozměrů a hmotností. Nevýhodou zde byla složitější konstrukce a nepříznivý převod sil mezi PJ a rameny efektoru. Optimální varianta D je částečnou kombinací variant B a C. Jsou zde použity dva mechanismy pro transformaci pohybu, a to šroubový a ozubený. Šroubový mechanismus složený z trapézového šroubu a matice je samosvorný, proto zde není použita brzda. Ozubený převod je tvořený ozubenými segmenty a ozubeným hřebenem zhotoveným na pohybové matici.

Práce obsahuje 3D model optimální varianty, který byl vytvořen v CAD systému Pro/Engineer. Na základě 3D modelu byl vypracován sestavný výkres v programu autoCAD. Namáhané součásti byly kontrolovány výpočty (příloha 1) podle doporučené literatury zabývající se danou problematikou a průběžně konzultovány s konstruktéry z praxe.

Práce se zabývá konstrukčním návrhem efektoru, není zde řešeno jeho řízení. A taktéž v práci není zahrnutý rozvod kabeláže s příslušnou elektronikou, ale i přesto je s touto problematikou počítáno a konstrukce se dá s minimálními změnami upravit.

12. Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] KÁRNÍK, Ladislav. *Servisní roboty*. VŠB - Technická univerzita Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2004. 144 s. ISBN 80-248-06-6.
- [2] KÁRNÍK, Ladislav, KNOFLÍČEK, Radek, NOVÁK-MARCINČIN, Jozef. *Mobilní roboty*. 1. vyd. Opava: Márfy slezsko, 2000. 212 s. ISBN 80-902746-2-5.
- [3] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. Vydání. Ostrava: Editační středisko VŠB, 2009. 91 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [4] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*. Ostrava: VŠB v Ostravě, 2004. 86s. ISBN 80-248-0514-6.
- [5] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 1. Vydání. Praha: ALBRA, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [6] SKAŘUPA, Jiří; *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. Vydání. Ostrava: Editační středisko VŠB, 2007. 229 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [7] SKAŘUPA, Jiří; ZELINA, Pavol. *Navrhování a výpočty efektorů PRaM*. 1. Vydání. Ostrava: Editační středisko VŠB, 1996. 107 s. ISBN 80-7078-304-4.
- [8] TALÁCKO, Jaroslav; MATIČKA, Robert. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. 1. Vydání. Praha 6: Editační středisko ČVUT, 1995. 237s. ISBN 80-01-01291-3

Internetové zdroje

- [9] *Součinitel smykového tření* [online]. 2011 [cit. 2011-03-10]. Dostupný z WWW: <http://www.converter.cz/tabulky/smykove-treni.htm>
- [10] *Pohybové jednotky* [online]. 2011 [cit. 2011-03-12]. Dostupné z WWW: <http://www.maxonmotor.com/>
- [11] *Paralelní efektor* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: <http://www.thinkbotics.com/products.htm>
- [12] *Paralelní efektor* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: <http://krafttelerobotics.com/products/raptor.htm>
- [13] *Mobilní robot Theodor* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: <http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=6343>

- [14] *Mobilní robot Ares* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: <http://robot.vsb.cz/mobilni-roboty/#ares>
- [15] *Micro efektor* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: <http://store.nanoscience.com/store/pc/viewContent.asp?idpage=28>
- [16] *Rozdělení efektorů* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupné z WWW: <http://www.automation.com/resources-tools/articles-white-papers/robotics/gripper-101-what-is-a-gripper>
- [17] *Rozdělení efektorů* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupné z WWW: <http://www.bettscomputers.com/grippers.htm>
- [18] *Lineární motor* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: <http://pavel.lasakovi.com/projekty/elektrotechnika/linearni-motor/>
- [19] *Dvou čelistový efektor* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: <http://www.eu-nited.net/robotics/index.php?idcat=81&idart=108>
- [20] *Čtyř čelistový efektor* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: http://news.thomasnet.com/company_detail.html?cid=1307592&sa=90
- [21] *Tří čelistový efektor* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: <http://www.designworldonline.com/ArticleDetails.aspx?id=6060>
- [22] *Elektromagnetický efektor* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: http://www.liftrite.ie/products/steel_lifting_by_mech_grippers.asp
- [23] *Pneumatická přísavka* [online]. 2011 [cit. 2011-02-16]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pneumaticke-prvky-v-automobilovem-prumyslu>

13. Přílohy

Seznam příloh:

Příloha 1

Výpočtová zpráva.

Příloha 2

Sestavný výkres efektoru BEN337-ROB01-S1.

Příloha 3

Výrobní výkres příruby BEN337-ROB01-S1-3.

Příloha 4

Katalogový list firmy MAXON – motory.

Příloha 5

Katalogový list firmy MAXON- planetové převodovky.

Příloha 6

CD – „Bakalářská práce”

Obsah CD:

- Výkresová dokumentace v AutoCADu
- Bakalářská práce. doc
- 3D model optimální varianty v CAD systému Pro/Engineer
- Přílohy bakalářské práce
- Katalogy